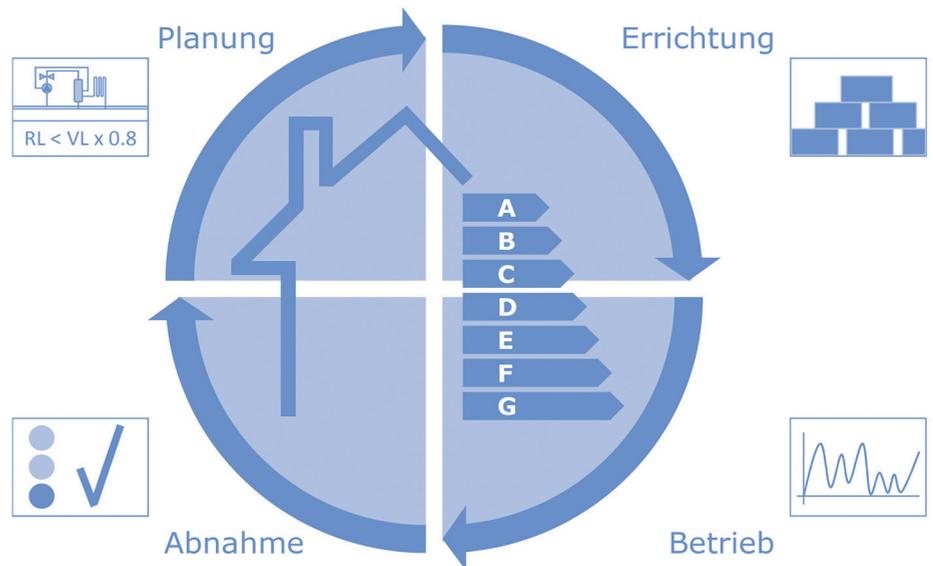


Claas Pinkernell

# Energie Navigator

Software-gestützte Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden und technischen Anlagen



# **Energie Navigator: Software-gestützte Optimierung der Energieeffizienz von Gebäuden und technischen Anlagen**

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der  
RWTH Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades  
eines Doktors der Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

**Diplom-Informatiker**

**Claas Pinkernell**

aus Einbeck

Berichter: Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe  
Universitätsprofessor Dr. rer. nat. Michael Goedicke

Tag der mündlichen Prüfung: 23. April 2014

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar.



# **Aachener Informatik-Berichte, Software Engineering**

herausgegeben von  
Prof. Dr. rer. nat. Bernhard Rumpe  
Software Engineering  
RWTH Aachen University

Band 17

**Claas Pinkernell**

## **Energie Navigator**

Software-gestützte Optimierung der Energieeffizienz  
von Gebäuden und technischen Anlagen

Shaker Verlag  
Aachen 2014

**Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2014)

Copyright Shaker Verlag 2014

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-2876-8

ISSN 1869-9170

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • E-Mail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Kurzfassung

Gebäude verursachen ca. 40% der weltweiten Kohlenstoffdioxid-Emissionen und tragen somit maßgeblich zur globalen Erwärmung bei. Neue Standards der Energieeffizienz, zum Beispiel Passiv- oder Plus-Energiehäuser, wurden in den letzten Jahren eingeführt, um die Emissionen neuer Gebäude zu reduzieren. Diese Standards werden in der Regel jedoch nur durch den Einsatz innovativer Technologien erreicht. Dies führt seit den 1990er Jahren zu einem drastischen Anstieg der Technisierung von Gebäuden.

Die Erreichung einer Effizienzsteigerung setzt jedoch den einwandfreien Betrieb dieser Anlagen voraus. Durch die Steigerung der Komplexität der Systeme werden neue Methoden in Planung, Umsetzung und Betrieb notwendig, um die angestrebten Performanzziele zu erreichen. Gebäudeautomationssysteme werden eingesetzt, um das Zusammenspiel der Einzelanlagen zu gewährleisten. Da Gebäude jedoch individuell geplant und umgesetzt werden, muss hierfür für jedes Gebäude ein hoher Aufwand betrieben werden.

Im Rahmen der vorliegenden Dissertation wurden eine Methodik und dafür geeignete Softwarewerkzeuge entwickelt, die bei der Planung, Umsetzung und dem Betrieb energieeffizienter Gebäude unterstützen sollen. Als wesentliches Defizit aktueller Prozesse wurde die fehlende Durchgängigkeit von der Planung in den Betrieb identifiziert. Zwar werden Gebäude strukturiert geplant, zum Beispiel deren Architektur, Kosten und Errichtungszeitpläne, jedoch werden während der Planung kaum Aussagen über das spätere Verhalten der Gebäudeautomation gemacht. Häufig liefern Anlagenhersteller lediglich Standardbeschreibungen ihrer Systeme als Word oder PDF Dokumente aus. In der Praxis findet man nach der Errichtung häufig Systeme vor, die in Werkskonfiguration betrieben werden und oftmals nicht das gewünschte Verhalten und die angestrebte Effizienz liefern.

Der in dieser Arbeit verfolgte Ansatz setzt bei genau diesem Defizit an: eine strukturierte Planung auf Basis einer dafür optimierten Domänenspezifischen Sprache erlaubt erstmalig die Definition von Performanzzielen bis hin zu konkretem Regelungsverhalten während der Planung. Die so genannten *Aktiven Funktionsbeschreibungen* ermöglichen die Spezifikation eines Sollverhaltens und können bei der Umsetzung genutzt werden. Im späteren Betrieb kann die Aktive Funktionsbeschreibung durch Sensordaten der Gebäudeautomation angereichert werden, was eine automatisierte Analyse von Soll- und Ist-Werten des Betriebs ermöglicht.

Für die Umsetzung dieser Methodik wurde das Softwarewerkzeug Energie Navigator entwickelt, das es ermöglicht, Aktive Funktionsbeschreibungen zu verfassen und diese im späteren Betrieb zu Analysezwecken zu verwenden. Neben dem Energie Navigator werden im Rahmen dieser Arbeit eine Reihe weiterer Hilfswerkzeuge zur Unterstützung der angestrebten Ziele vorgestellt.



# Abstract

Buildings produce about 40% of the worldwide carbon dioxide emissions and thus significantly influence the global warming. New standards of energy efficiency, i.e., passive houses or plus energy houses, were introduced throughout the last years to reduce the emissions of new buildings. These standards can usually be adapted with innovative technologies only. Since the 1990s this caused a huge increase of technological complexity of buildings.

To reach an increase of energy efficiency a faultless operation of the technical systems is required. Due to the increasing complexity of the systems, new methodologies for planning, construction and operation are required to reach the expected performance. Building automation systems are used to manage the multitude of facilities. Since buildings are planned and constructed individually, a big effort has to be invested to reach these goals.

Within this thesis a methodology and a software tool were developed to support planning, construction and operation of energy efficient buildings. In current processes a missing integration from planning to operation was identified as the main deficit. Although buildings are planned structurally, i.e., its architecture, costs and construction timelines, no definition of the later behavior of building automation is given. Manufacturer of facilities usually deliver a very abstract documentation of their systems as Word or PDF documents. After the construction of a building, experts often find facilities working in their default settings and not reaching the expected performance.

In this thesis a concept is introduced that faces these issues: a structural documentation based on a domain specific language enables the definition of performance criteria up to the specification of concrete facility controlling in the planning phase for the first time. So called *Active Functional Descriptions* specify a desired system behavior and can be re-used during construction phase to implement the system regularization as it is expected. During operation the Active Functional Description is instrumented with given sensor data to automatically analyze the expected and actual operation.

To support this methodology the software tool Energie Navigator was developed. With a server/client based implementation users are able to create Active Functional Descriptions during the planning phase and to analyze them during building operation. Furthermore several additional software tools are introduced to support the new concept of structural planning.